

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Vickers Hardness Number* (VHN) dengan pembebanan sebesar 10 kilogram. Pengujian dilakukan pada daerah HAZ, base metal dan pengelasan.

**Tabel 4.1** hasil pengujian kekerasan *non pre-heat*.

Daerah pengujian			d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	D	D <sup>2</sup>	VHN	VHN rata <sup>2</sup>
80 A	Las	1	0.333	0.338	0.336	0.113	<b>164.80</b>	<b>167.68</b>
		2	0.326	0.328	0.327	0.107	<b>173.48</b>	
		3	0.358	0.38	0.369	0.136	<b>136.24</b>	
		4	0.321	0.331	0.326	0.106	<b>174.55</b>	
		5	0.305	0.321	0.313	0.098	<b>189.35</b>	
	Haz	1	0.316	0.322	0.319	0.102	<b>182.29</b>	<b>139.36</b>
		2	0.366	0.362	0.364	0.132	<b>140.00</b>	
		3	0.369	0.374	0.372	0.138	<b>134.41</b>	
		4	0.356	0.365	0.361	0.130	<b>142.74</b>	
		5	0.435	0.438	0.437	0.191	<b>97.36</b>	
	Induk	1	0.27	0.279	0.275	0.075	<b>246.18</b>	<b>214.80</b>
		2	0.298	0.306	0.302	0.091	<b>203.39</b>	
		3	0.3	0.303	0.302	0.091	<b>204.07</b>	
		4	0.285	0.298	0.292	0.085	<b>218.31</b>	
		5	0.298	0.308	0.303	0.092	<b>202.05</b>	
100 A	Las	1	0.306	0.325	0.316	0.100	<b>186.36</b>	<b>176.43</b>
		2	0.322	0.333	0.328	0.107	<b>172.95</b>	
		3	0.325	0.334	0.330	0.109	<b>170.86</b>	
		4	0.32	0.338	0.329	0.108	<b>171.38</b>	
		5	0.327	0.314	0.321	0.103	<b>180.59</b>	
	Haz	1	0.37	0.365	0.368	0.135	<b>137.35</b>	<b>136.62</b>
		2	0.376	0.374	0.375	0.141	<b>131.91</b>	
		3	0.349	0.356	0.353	0.124	<b>149.29</b>	
		4	0.366	0.387	0.377	0.142	<b>130.86</b>	

	Induk	5	0.386	0.359	0.373	0.139	<b>133.69</b>	<b>209.34</b>
		1	0.285	0.291	0.288	0.083	<b>223.64</b>	
		2	0.285	0.278	0.282	0.079	<b>234.09</b>	
		3	0.28	0.286	0.283	0.080	<b>231.62</b>	
		4	0.33	0.337	0.334	0.111	<b>166.78</b>	
		5	0.307	0.317	0.312	0.097	<b>190.56</b>	
120A	Las	1	0.357	0.368	0.363	0.131	<b>141.17</b>	<b>141.72</b>
		2	0.348	0.366	0.357	0.127	<b>145.55</b>	
		3	0.39	0.4	0.395	0.156	<b>118.89</b>	
		4	0.333	0.337	0.335	0.112	<b>165.29</b>	
		5	0.361	0.373	0.367	0.135	<b>137.72</b>	
	Haz	1	0.344	0.327	0.336	0.113	<b>164.80</b>	<b>145.90</b>
		2	0.348	0.354	0.351	0.123	<b>150.57</b>	
		3	0.354	0.358	0.356	0.127	<b>146.37</b>	
		4	0.354	0.364	0.359	0.129	<b>143.93</b>	
		5	0.378	0.396	0.387	0.150	<b>123.86</b>	
	Induk	1	0.282	0.291	0.287	0.082	<b>225.99</b>	<b>195.11</b>
		2	0.28	0.292	0.286	0.082	<b>226.78</b>	
		3	0.306	0.326	0.316	0.100	<b>185.77</b>	
		4	0.377	0.382	0.380	0.144	<b>128.80</b>	
		5	0.294	0.303	0.299	0.089	<b>208.19</b>	

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan *Pre-heat*

Data pengujian			$d_1$	$d_2$	D	$D^2$	VHN	VHN rata <sup>2</sup>
P 80 A	Las	1	0.316	0.312	0.314	0.099	<b>188.14</b>	<b>151.21</b>
		2	0.375	0.369	0.372	0.138	<b>134.05</b>	
		3	0.387	0.396	0.392	0.153	<b>121.03</b>	
		4	0.329	0.337	0.333	0.111	<b>167.28</b>	
		5	0.356	0.358	0.357	0.127	<b>145.55</b>	
	Haz	1	0.377	0.362	0.370	0.137	<b>135.87</b>	<b>137.02</b>
		2	0.353	0.344	0.349	0.121	<b>152.73</b>	
		3	0.356	0.349	0.353	0.124	<b>149.29</b>	
		4	0.393	0.402	0.398	0.158	<b>117.40</b>	
		5	0.373	0.383	0.378	0.143	<b>129.83</b>	
	Induk	1	0.315	0.345	0.330	0.109	<b>170.34</b>	<b>207.60</b>
		2	0.286	0.294	0.290	0.084	<b>220.57</b>	
		3	0.305	0.317	0.311	0.097	<b>191.79</b>	
		4	0.282	0.295	0.289	0.083	<b>222.87</b>	
		5	0.28	0.285	0.283	0.080	<b>232.44</b>	
	Las	1	0.395	0.405	0.400	0.160	<b>115.94</b>	<b>157.25</b>
		2	0.342	0.344	0.343	0.118	<b>157.67</b>	
		3	0.341	0.344	0.343	0.117	<b>158.13</b>	

P 100 A		4	0.322	0.326	0.324	0.105	<b>176.71</b>	
		5	0.32	0.326	0.323	0.104	<b>177.80</b>	
	Haz	1	0.388	0.375	0.382	0.146	<b>127.45</b>	<b>147.92</b>
		2	0.347	0.362	0.355	0.126	<b>147.61</b>	
		3	0.398	0.386	0.392	0.154	<b>120.72</b>	
		4	0.321	0.333	0.327	0.107	<b>173.48</b>	
		5	0.323	0.337	0.330	0.109	<b>170.34</b>	
	Induk	1	0.32	0.333	0.327	0.107	<b>174.01</b>	<b>206.29</b>
		2	0.294	0.293	0.294	0.086	<b>215.34</b>	
		3	0.292	0.295	0.294	0.086	<b>215.34</b>	
		4	0.298	0.303	0.301	0.090	<b>205.43</b>	
		5	0.281	0.298	0.290	0.084	<b>221.33</b>	
P 120 A	Las	1	0.303	0.339	0.321	0.103	<b>180.03</b>	<b>183.07</b>
		2	0.317	0.328	0.323	0.104	<b>178.35</b>	
		3	0.302	0.319	0.311	0.096	<b>192.41</b>	
		4	0.326	0.312	0.319	0.102	<b>182.29</b>	
		5	0.317	0.321	0.319	0.102	<b>182.29</b>	
	Haz	1	0.312	0.335	0.324	0.105	<b>177.25</b>	<b>146.62</b>
		2	0.331	0.336	0.334	0.111	<b>166.78</b>	
		3	0.359	0.359	0.359	0.129	<b>143.93</b>	
		4	0.376	0.376	0.376	0.141	<b>131.21</b>	
		5	0.396	0.411	0.404	0.163	<b>113.93</b>	
	Induk	1	0.326	0.338	0.332	0.110	<b>168.29</b>	<b>188.72</b>
		2	0.323	0.334	0.329	0.108	<b>171.90</b>	
		3	0.293	0.296	0.295	0.087	<b>213.88</b>	
		4	0.294	0.298	0.296	0.088	<b>211.72</b>	
		5	0.32	0.326	0.323	0.104	<b>177.80</b>	

Contoh perhitungan.

$$d_{\text{rata-rata}} = \frac{d_1 + d_2}{2} \dots (\text{mm})$$

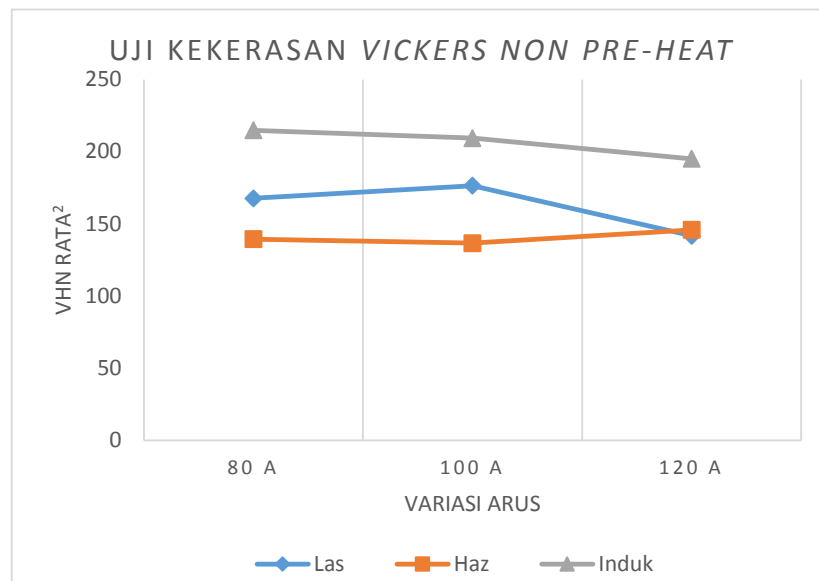
$$= \frac{0,333 + 0,338}{2} = 0,336 \text{ mm}$$

$$d^2 = \dots (\text{mm}^2)$$

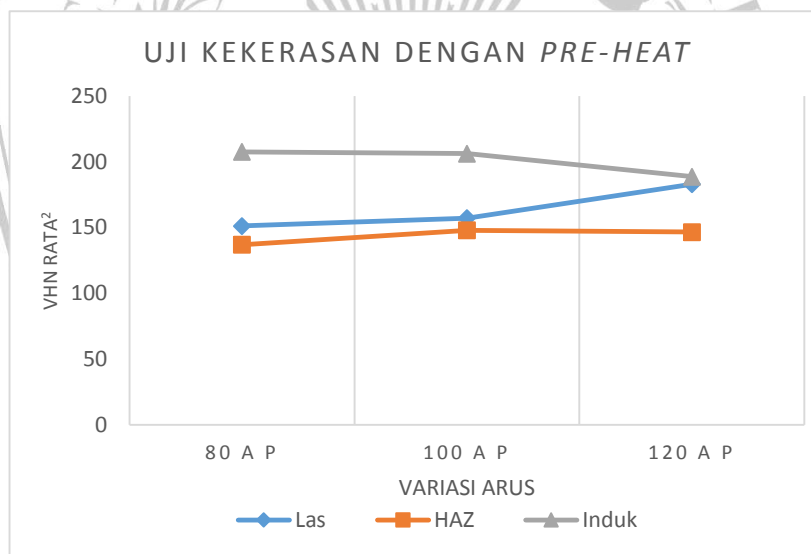
$$= (0,336^2) = 0,113 \text{ mm}^2$$

$$\text{VHN} = (1,855) \times \frac{P}{d^2} \dots (\text{kg/mm}^2)$$

$$= (1,855) \times \frac{10}{0,113} = 164,80 \text{ kg/mm}^2$$



**Gambar 4.1 Grafik Hasil Uji Kekerasan *Non Pre-heat***



**Gambar 4.2 Grafik Hasil Uji Kekerasan *Pre-heat***

Pada grafik di atas menunjukkan, bahwa pada tiap spesimen masing-masing dilakukan 5 (lima) kali percobaan pada tiap *zona* dengan preheat dan *non pre-heat* dengan variasi arus 80 A, 100 A dan 120 A. Dari hasil rata-rata VHN pada tiap spesimen, kekerasan tertinggi terdapat pada bagian *base metal* yaitu pada *non pre-*

*heat* 80 A dengan nilai kekerasan 214,80 kg/mm<sup>2</sup> sedangkan kekerasan terendah pada bagian *base metal* terjadi pada spesimen preheat dengan variasi arus 100 A dengan nilai kekerasan 188.72 kg/ mm<sup>2</sup>. Hal ini disebabkan karena pada spesimen *non pre-heat* tidak mendapatkan pemanasan sebelum melakukan pengelasan yang menjadikan spesimen tidak mengalami perubahan nilai kekerasan, sedangkan pada spesimen *pre-heat* mengalami perubahan kekerasan karena panas dan pengaruh variasi arus juga mempengaruhi sifat kekerasan dari material. Semakin besar arus yang di gunakan maka akan semakin menurun nilai kekerasannya. Pada daerah HAZ nilai kekerasan dari seluruh proses pengelasan tidak berbeda jauh nilai kekerasan tertinggi terdapat pada *pre-heat* 100 A dengan nilai kekerasan 147,92 kg/mm<sup>2</sup>, yang diikuti dengan *pre-heat* 120 A dengan nilai VHN rata-rata sebesar 146.62 kg/ mm<sup>2</sup> dan nilai terendah pada daerah HAZ terdapat pada *non pre-heat* 100 A dengan nilai kekerasan VHN rata-rata sebesar 136.62 kg/ mm<sup>2</sup>. Pada daerah *welding* nilai kekerasan tertinggi terdapat pada preheat 120 A dengan nilai VHN rata-rata 183.07 kg/ mm<sup>2</sup>, sedangkan nilai kekerasan terendah terdapat pada *non pre-heat* 120 A dengan nilai VHN rata-rata 141.72 kg/ mm<sup>2</sup>.

Pada penelitian kali ini logam induk memiliki nilai kekerasan tertinggi dibandingkan dengan daerah *welding* dan HAZ dikarenakan logam induk adalah logam yang jauh dari bagian las sehingga tidak terpengaruh oleh suhu panas las dan tetap dalam struktur mikro dan sifat semula. Widharto (2013: 456). Pada daerah *welding* lebih lunak dibandingkan dengan logam induk dikarenakan suplai panas yg paling tinggi maka butir-butir logam semakin membesar dan menurunkan nilai kekerasan, daerah *welding* memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan HAZ karena adanya migrasi karbon sehingga efeknya mengakibatkan

daerah HAZ akan mengalami daerah kekurangan karbon sehingga kekerasannya menurun Subeki (2009).

## 4.2 Data Hasil Pengujian Tarik

Dari hasil pengujian tarik terhadap 6 spesimen dengan *pre-heat* dan *non pre-heat* dengan variasi arus 80 A, 100 A, dan 120 A, maka didapat data sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data Awal Spesimen Uji Tarik

Spesimen	T <sub>0</sub> (mm)	W <sub>0</sub> (mm)	L <sub>0</sub> (mm)	T <sub>1</sub> (mm)	W <sub>1</sub> (mm)	L <sub>1</sub> (mm)
<b>80 A</b>	4	14,25	40	3,65	11,15	63,90
<b>100 A</b>	4	12,75	40	3,65	10,65	57,35
<b>120 A</b>	4	14	40	3,35	11,05	62
<b>P 80 A</b>	4	14	40	2,65	10	67,35
<b>P 100 A</b>	4	12,85	40	3,50	11,85	57,95
<b>P 120 A</b>	4	13	40	3,45	10,40	61,40

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Pada Hasil Uji Tarik

Spesimen	P Max (N)	$\sigma$ Max (MPa)	P Yield (N)	$\sigma$ Yield (MPa)	$\Delta L$ (mm)	$\epsilon$ (%)
<b>80 A</b>	34972,5	613,553	20374,7	357,4508	23,9	59,75
<b>100 A</b>	28380	556,471	19354,6	397,5019	17,35	43,375
<b>120 A</b>	34263,6	611,85	20390,5	364,1161	22	55
<b>P 80 A</b>	33892,6	605,225	20039,2	357,8428	27,35	68,375
<b>P 100 A</b>	27154,2	528,291	19574,7	380,8307	17,95	44,875
<b>P 120 A</b>	31483,3	605,448	19446,6	373,9730	21,4	53,5

**Contoh perhitungan :**

Beban maksimal

$$P_{\max} = \text{peak load (pl)} \times 1000 = \dots\dots\dots(\text{N})$$

$$= 34,9725 \times 1000 = 34972,5 \text{ N}$$

tegangan tarik

$$\sigma_{\max} = \frac{P_{\max}}{(w_0 \times t_0)} = \dots\dots\dots(\text{MPa})$$

$$= \frac{34972,5}{(14,25 \times 4)} = 613,553 \text{ MPa}$$

Beban Yield (Pyield)

$$P_{\text{yield}} = \text{yield (pl)} \times 1000 = \dots\dots\dots(\text{N})$$

$$P_{\text{yield}} = 20.3747 \text{ kN} \times 1000 = 20374,7 \text{ N}$$

Tegangan luluh

$$\sigma_{\text{yield}} = \frac{P_{\text{yield}}}{(w_o \times t_o)} = \dots\dots (\text{MPa})$$

$$= \frac{20374,7}{(14,25 \times 4)} = 357,4508 \text{ MPa}$$

Penambahan panjang spesimen

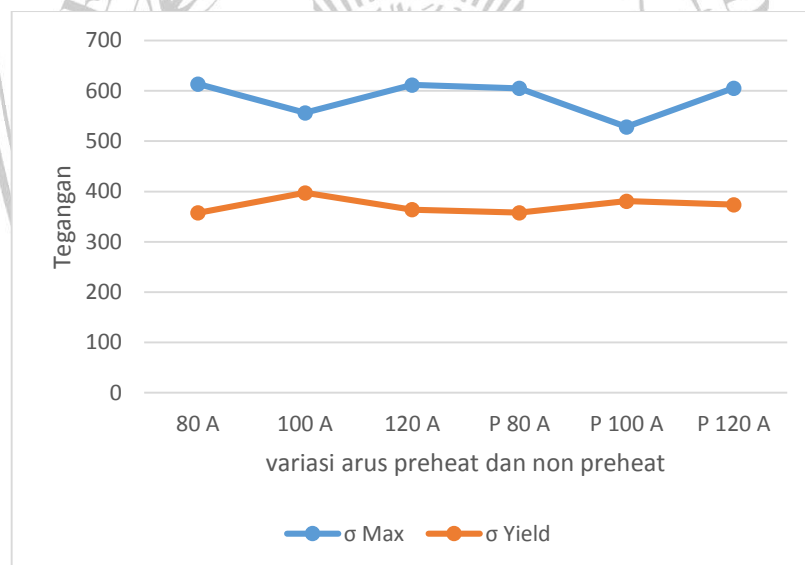
$$\Delta L = L_1 - L_0 \dots (\text{mm})$$

$$= 63,90 - 40 = 23,9 \text{ mm}$$

Regangan

$$\epsilon = \text{grafik stress strain} \dots (\%)$$

$$= \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \% = \frac{23,9}{40} \times 100 \% = 59,75 \%$$



**Gambar 4.3 Grafik Hasil Uji Tarik *Pre-heat* dan *Non Pre-heat* Dengan Variasi Arus 80 A, 100 A, dan 120 A.**

Dari tabel hasil pengujian tarik di atas menunjukkan setelah dilakukan pengujian tarik diperoleh grafik tegangan maksimum dan tegangan luluh pada tiap



spesimen dengan *pre-heat* dan *non pre-heat* dengan variasi arus 80 A, 100 A dan 120 A sebagai berikut

Pada *non pre-heat* tegangan tarik tertinggi pada 80 A dengan nilai 613,553 MPa dan diikuti dengan arus 120 A dengan nilai 611,85 MPa, dan tegangan tarik terendah terletak pada arus 100 A dengan nilai 556,471 MPa. Tegangan luluh tertinggi terdapat pada arus 100 A dengan nilai 397,5019 MPa dan diikuti pada arus 120 A dengan nilai 364,1161 MPa, dan tegangan luluh terkecil terdapat pada arus 80 A dengan nilai 357,4508 MPa.

Pada *pre-heat* tegangan tarik tertinggi terletak pada arus 120 A dengan nilai 605,448 MPa yang diikuti dengan arus 80 A dengan nilai 605,225 MPa, dan yang terendah terdapat pada arus 100 A dengan nilai 528,291 MPa. Tegangan luluh tertinggi pada perlakuan *pre-heat* terdapat pada arus 100 A dengan nilai 380,8307 MPa yang diikuti arus 120 A dengan nilai 373,973 MPa, dan tegangan luluh yang terkecil terdapat pada arus 80 A dengan nilai 357,8428 MPa. Jika ditarik garis resultan, maka grafik tegangan tarik maksimum akan cenderung menurun seiring bertambahnya arus pengelasan. Hal ini dikarenakan faktor *heat input*, sebagaimana penelitian yang telah dilakukan Mohruni (2013), yang menyimpulkan bahwa besar kuat arus listrik mempengaruhi kekerasan, tegangan tarik dan susunan struktur mikro dari setiap spesimen. Hal ini disebabkan bila arus listrik yang diberikan semakin besar, maka masukan panas (*heat input*) yang diberikan pada spesimen akan semakin besar. Pada arus listrik rendah, nilai tegangan tarik akan cenderung semakin tinggi.